

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA MATERIÁLU

Studijní program: 2341 B Strojírenství
Studijní obor: 3911R018 Materiály a technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

VLIV TEPELNÉHO NAMÁHÁNÍ NA KOROZNÍ ODOLNOST POVLAKOVÉHO SYSTÉMU Zn-Ni

INFLUENCE OF THERMAL STRESS ON CORROSION RESISTANCE OF COATING SYSTEM Zn-Ni

KMT – B – 160

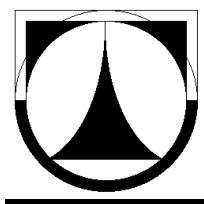
Petr Plášil

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vladimír Nosek
Konzultant bakalářské práce: Ing. Hana Bartoňková – TRW – DAS a.s. Dačice

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	48
Počet obrázků:	26
Počet tabulek:	7
Počet grafů:	1
Počet příloh:	2

V Liberci dne 31.března 2010



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA MATERIÁLU

Hálkova 6, 461 18 Liberec
Tel.: 48 535 3116, fax: 48 535 3342

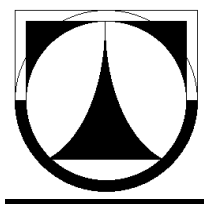
ANOTACE

JMÉNO: Petr Plášil
OBOR: Materiály a technologie
ZAMĚŘENÍ: Materiálové inženýrství
ZADÁNÍ PRÁCE: Vliv tepelného namáhání na korozní odolnost povlakového systému Zn-Ni
ČÍSLO PRÁCE: KMT – B – 160
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Vladimír Nosek
KONZULTANT: Ing. Hana Bartoňková – TRW – DAS a.s. Dačice

Bakalářská práce se zabývá galvanickými slitinovými povlaky Zn-Ni a jejich zkoušením.

Teoretická část práce pojednává o vytváření a zkoušení povlaků Zn-Ni.

Praktická část je zaměřena na popsání vlastností povlaků Zn-Ni a závislosti korozní odolnosti na tepelném namáhání vzorků.



TECHNICAL UNIVERSITY
FAKULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF MATERIAL SCIENCE

Hálkova 6, 461 18 Liberec
Tel.: 48 535 3116, fax: 48 535 3342

ANNOTATION

NAME: Petr Plášil

SPECIALIZATION: Materials and technology

FOCUSING: Material engineering

THEME OF BSC WORK: Influence of thermal stress on corrosion resistance of coating system Zn-Ni

NUMBER OF BSC WORK: KMT – B – 160

LEADER OF BSC WORK: Ing. Vladimír Nosek

CONSULTER: Ing. Hana Bartoňková – TRW – DAS a.s. Dačice

The bachelor thesis is engaged in galvanic alloyed coatings Zn-Ni and their testing.

Theoretical part of the work deal with producing and testing of coatings Zn-Ni.

Practical part is focused on description of characteristics of coatings Zn-Ni and dependence of their corrosion resistance on thermal loading.

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval Ing. Vladimíru Noskovi za cenné rady a podporu při tvorbě bakalářské práce.

OBSAH BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

1. Úvod.....	9
2. Proces galvanického pokovování	10
2.1. Druhy povlaků	10
2.2. Technologie povrchových úprav	11
2.3. Princip elektrolýzy	16
2.4. Galvanické lázně zinku a slitin zinku	17
2.5. Chromátování	20
3. Koroze a testování povlaků Zn-Ni.....	21
3.1. Koroze.....	21
3.1.1. Korozní napadení a děje z hlediska korozního prostředí.....	22
3.1.2. Nejběžnější typy koroze.....	23
3.1.3. Korozní chování povlaku Zn-Ni.....	24
3.2. Metody zkoušení slitinových povlaků Zn-Ni.....	25
3.2.1. Měření tloušťky povrchové vrstvy.....	26
3.2.2. Přilnavost povlaku.....	28
3.2.3. Mechanické vlastnosti.....	29
4. Analýza vlastností vzorků s Zn-Ni povlakem.....	30
5. Vliv tepelného namáhání na korozní odolnost povlaku Zn-Ni.....	34
6. Diskuse	42
7. Závěr.....	43
8. Použitá literatura.....	44
9. Přílohy.....	46

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Značka	Název	Jednotka
NSS	test neutrální solnou mlhou	
pH	kyselost (vodíkový exponent)	
R _a	drsnost povrchu	[μm]
RH	relativní vlhkost	
Zn-Fe	slitina zinek - železo	
Zn-Ni	slitina zinek – nikl	

KLÍČOVÁ SLOVA

Galvanické pokovení

Slitina Zn-Ni

Koroze

1. Úvod

S rozvojem automobilového průmyslu souvisí rozvoj mnoha dalších odvětví. Mezi jedno z nedůležitějších patří povrchové úpravy. V posledních letech jsou z důvodu konkurence zvyšovány nároky na kvalitu, cenu a s tím i spojenou záruku kvality. Pro odvětví povrchových úprav to znamená zvyšování korozní odolnosti, snižování nákladů a neposlední řadě vývoj nových technologií.

Zvýšené nároky na korozní odolnost jsou důsledkem prodlužujících se záručních lhůt. Typickým představitelem jsou podvozkové dílce, kde se k agresivitě prostředí přidává i teplotní a mechanické namáhání. Není jednoduché vyhovět všem těmto podmínkám. Jednou z povrchových úprav, která splňuje požadavky zákazníků je galvanické pokovení slitinou zinek-nikl.

Z těchto důvodů je v současné době tato slitina upřednostňována před klasickým zinkováním. Zinkové povlaky plně nevyhovují požadavkům na korozní odolnost, kdy se projevuje bílá koroze a s jejím růstem dochází k nerozebíratelnosti jednotlivých komponentů. Slitiny Zn-Ni mají velmi dobrou přilnavost k základnímu kovu, jsou tvrdé a odolné proti otěru.

Jednou z pozitivních vlastností těchto povlaků by měla být odolnost proti zvýšené teplotě, při níž by si povlak měl zachovávat stejnou korozní odolnost jako při běžné teplotě okolí. Cílem této práce je ověřit, zda tomu tak skutečně je. Mnoho podnikových norem požaduje před testem korozní odolnosti teplotní kalibrace. Na základě kladného výsledku této práce by bylo možné doporučit změnu v normách a vynechat tepelné namáhání před testem korozní odolnosti. Tím by se snížily výdaje za provedení testu.

2. Proces galvanického pokovování

2.1. Druhy povlaků

Galvanické pokovování je založeno na elektrolýze vodných roztoků kovových solí. Povlaková vrstva je vylučována elektrochemickou redukcí kationů nanášeného kovu z elektrolytu na povrch chráněného kovu. Nejčastěji se povlaky vytvořené galvanickým pokovením používají k ochraně kovů proti korozi, důležitý je také dekorativní vzhled a některé další funkční vlastnosti (otěruvzdornost, tvrdost, elektrická vodivost, odrazivost, nízký koeficient tření, nízký přechodový odpor, apod.). Galvanickým způsobem lze vylučovat řadu kovů a jejich slitin, i když mohou mít odlišné vlastnosti než hutnicky připravené kovy. Kovové povlaky s ohledem na svou funkci v elektricky vodivém prostředí se vzhledem k základnímu kovu v daném prostředí dělí [1]:

Katodické ochranné povlaky jsou vzhledem k základnímu kovu elektropozitivní, jsou tedy ušlechtlejší než základní kov. U těchto povlaků je důležitá dostatečná tloušťka povrchové vrstvy a celistvost povlaku, aby byla vyloučena pórovitost povlaku, neboť katodické povlaky mají sklon podporovat korozi základního kovu. Životnost katodických povlaků je zpravidla v atmosférických podmínkách dobrá, protože i za podmínek vzniku článku sice dochází ke korozi, ale korozní produkty mají většinou ochrannou funkci. Základními zástupci katodických povlaků pro atmosférické podmínky jsou různé typy povlaků Cu, Ni, Sn [1].

Anodické ochranné povlaky fungují oproti základnímu materiálu jako anoda, jsou elektronegativní. Jejich funkci však nelze chápat jako jednoduchý elektrochemický děj, při kterém by vlastně povlak fungoval jako obětovaná anoda. Jako anodické povlaky se uplatňují takové kovy, které sice reagují v daném prostředí, ale výsledkem je vznik korozních zplodin odolných proti další korozi. Vlastní ochranou funkci mají tedy korozní zplodiny na povrchu anodického povlaku. Příkladem takového ochranného korozního produktu je Al_2O_3 . Z anodických povlaků se proti korozi v atmosférických podmínkách používá zejména povlaků zinkových a hliníkových [1].

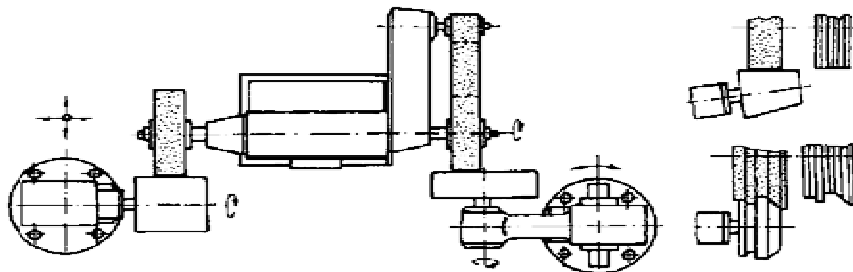
2.2. Technologie povrchových úprav

Kvalitní příprava povrchu je nezbytným předpokladem celého technologického postupu a jedním ze základních činitelů ovlivňujících životnost povrchových úprav. Nároky na čistotu a kvalitu povrchu závisí na druhu následné povrchové úpravy. Galvanické pokovování je operace, která vyžaduje vysoce kvalitní povrch. Úprava povrchu se rozděluje obvykle na dvě základní skupiny pracovních operací:

- ❖ mechanické úpravy povrchu
- ❖ chemické úpravy povrchu

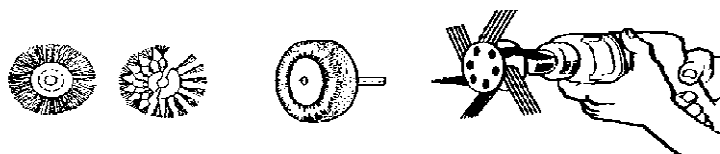
Mechanické úpravy povrchu – nejrozšířenějšími způsoby těchto úprav jsou broušení, leštění a kartáčování. Používají se jako úpravy před vytvářením povlaků nebo jako konečné úpravy. Jejich cílem je očistit povrch od nečistot, vytvořit podmínky pro zvýšení korozní odolnosti, vytvořit povrch odpovídající vzhledovým požadavkům a zlepšit mechanické vlastnosti povrchu [1].

Broušení je jemné obrábění povrchu nástrojem s brusivem, výchozí povrch se postupně vybrušuje na stále nižší drsnost cca 0,4 až 0,2 R_a . Postup broušení je rozdělen do několika etap, kdy se postupně brousí jemnějšími kotouči až do požadované drsnosti povrchu. Broušením se upravuje základní povrch obvykle před následným kartáčováním [1].



Obr. č. 1: Broušení speciálními nástroji

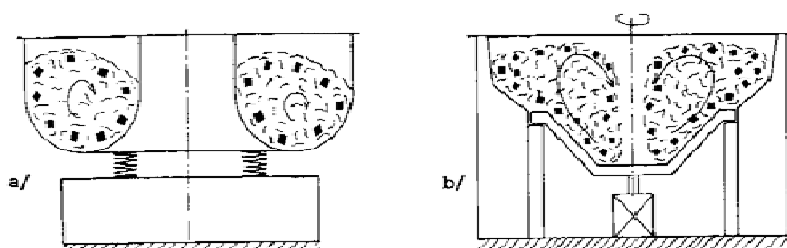
Kartáčování se používá pro dva druhy úprav povrchu. Jednak čistící operace při odstraňování hrubých nečistot a dále jako operace zařazovaná po broušení nebo před leštěním k zjemnění upravovaného povrchu. K čištění a matování se používá drátěných kartáčů, k dokončovacím operacím měkkých a pružných kotoučů z přírodních a umělých vláken [1].



Obr. č. 2: Kotoučové kartáče

Leštěním se odstraňují nejjemnější stopy po předchozím jemném broušení nebo kartáčování, dosahuje se s ním drsnosti povrchu až pod $0,1 R_a$. K dosažení vyššího lesku se kromě leštícího nástroje používá také leštící pasta. Při předleštování se používají tvrdší látkové kotouče a mastnější i ostřejší pasty při větších obvodových rychlostech. Pro doleštování se používají měkké kotouče, sušší jemnější pasty a menší obvodové rychlosti [1].

Omílání je mechanický způsob úpravy povrchu kdy dochází k úběru materiálu a jeho vyhlazování účinkem omílacích tělísek a vzájemného působení omílaných výrobků. Technologie je vhodná především pro hromadnou úpravu menších dílců o velkých sériích. Omílání se používá pro vyhlazování povrchu, k zaoblování hran, k odstraňování ostřin nebo okují a před různými povrchovými úpravami, zejména před galvanickým pokovováním. Lze jím dosáhnout až drsnosti $0,3 R_a$. Podle druhu používaných nástrojů dělíme omílání na rotační, vibrační a odstředivé. Omílací prostředky jsou nejčastěji z umělého korundu, kovů a také organických materiálů [1].



Obr. č. 3: Omílací nástroje pro vibrační (a) a odstředivé (b) omílání

Otryskávání je velmi produktivní způsob čištění a přípravy povrchu, kdy jsou na předmět vrhána volná zrna různých materiálů (abrazivní částice). Nejvíce se jako abrazivní materiál používají ocelové broky, křemičitý písek, ocelová drť či struska. Vysoká rychlost je dodávána částicím několika způsoby. Především je to proudem stlačeného vzduchu (tlakovzdušné tryskání), dalším způsobem je mechanické metání abrazivních částic, jiný způsob je dodání kinetické energie tlakovou vodou [1].

Tryskání suchým ledem patří mezi nejnovější metody předúpravy povrchu. Suchý led je v podstatě oxid uhličitý v pevném stavu. Pracuje na stejném principu jako ostatní metody otryskávání. Na tryskaný předmět jsou vrhány částičky suchého ledu (takzvané pelety), které jsou urychlovány stlačeným vzduchem. Díky velmi nízké teplotě (-79°C) suchého ledu dochází při dopadu na povrch k termickému šoku. Díky kinetické energii dopadajících částic, termickému šoku a sublimaci oxidu uhličitého dochází k oddělování nežádoucí povrchové vrstvy od vlastního materiálu. Tryskání suchým ledem je bezpochyby velice perspektivní metoda, která se bude v budoucnu stále více prosazovat, zatím jí ale brzdí poměrně vysoká cena [2].

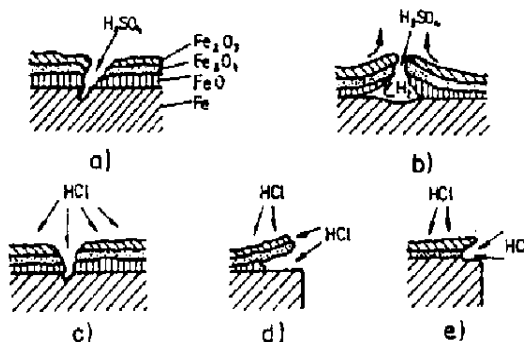
Chemické úpravy povrchu – chemické a elektrochemické úpravy povrchu mají především význam v odstraňování nečistot z povrchu materiálu před následujícími technologiemi. K těmto úpravám povrchu patří technologie odmašťování, moření, odrezování a elektrolytického leštění. Nečistoty, které mohou ulpět na kovovém povrchu během nejrůznějších výrobních procesů a s nimiž se při čištění povrchu setkáváme, lze zhruba rozdělit do dvou skupin:

- ❖ **cizí nečistoty** – zbytky konzervačních prostředků, brusných a leštících past, vrtacích a obráběcích emulzí, řezných olejů, kovový prach a třísky, zbytky anorganických nečistot (prach z ovzduší, grafit, zbytky brusiv, oxidy hliníku a železa, křemičitany atd.)
- ❖ **vlastní nečistoty** – korozní zplodiny, okuje apod. [1]

Odmašťování se používá k odstraňování všech druhů ulpěných nečistot, které jsou k povrchu vázány buď adhezními silami, nebo fyzikální adsorpcí. Pomocí odmašťovacích přípravků se převedou do roztoku nebo emulze a zabrání se jejich zpětnému vyloučení na kovovém povrchu. Podle druhu probíhajících pochodů lze odmašťovací operace v zásadě rozdělit na odmašťování:

- ❖ **v organických rozpouštědlech** – petrolej, benzín, trichlorethylen, perchlorethylen. Organická rozpouštědla jsou, vzhledem ke svým nevýhodám jako je hořlavost, jedovatost, nestálost, negativní vliv na životní prostředí, problematika likvidace, nadále nevhodné pro použití a do budoucna neperspektivní [1].
- ❖ **ve vodných alkalických roztocích** – jsou na bázi hydroxidu sodného, sody, fosforečnanu sodného, křemičitanů, které jsou obohacené povrchově aktivními látkami – tenzidy. V současnosti jsou popsány alkalické složky nahrazovány boritany a polyfosfáty. Pracovní teplota roztoků se pohybuje v rozmezí 70 – 90°C. Elektrickým proudem je možné zintenzivnit a zlepšit odmaštění v alkalických roztocích. Elektrolytické odmašťování lze rozdělit podle způsobu zapojení předmětu, který odmašťujeme, na katodické, anodické a katodicko-anodické [1].
- ❖ **vodnými tenzidovými prostředky** – patří k nejmladším technologiím s dobře vyřešenými otázkami odpadních vod. Jde o prostředky slabě alkalické s nízkým obsahem solí s přídavkem vodních tenzidových přípravků na bázi anion-kation. Provozní teploty jsou oproti alkalickým vodným prostředkům podstatně nižší a to 50 – 60°C s poměrně krátkou dobou odmašťování v rozsahu 1 – 10 minut [1].
- ❖ **emulzní odmašťování** – je proces čištění, který používá organická rozpouštědla získaná z ropných produktů (benzín, petrolej) jako hlavní činnou složku nebo emulgaci mastnot ve vodném prostředí. Pro zlepšení stability se přidávají do emulze emulgátory, některé emulze obsahují aktivizační činidla. Používají se tam, kde není možné použít alkalických roztoků. Nevýhoda je vznik někdy velmi stabilních emulzí, které se špatně odstraňují z odpadních vod [3].

Moření je způsob odstraňování kovových oxidů vznikajících při tepelném zpracování a hydratovaných oxidů vznikajících při atmosférické korozi. Nejčastěji se používá moření v minerálních kyselinách, především v kyselině solné a sírové. Někdy se také používají i kyselina dusičná, fluorovodíková nebo směsi kyselin. U slitin na bázi zinku a hliníku lze moření provádět i v alkalických roztocích NaOH. Většinou se kovové oxidy, které vznikají při tepelném zpracování, odstraňují obtížněji, než oxidy vznikající při atmosférické korozi. Nevýhodou moření je, že mimo nečistot a koroze je mořidlem napadán i základní kov (slitina). K odstraňování nečistot se někdy používá i sdruženého moření s odmašťováním [1].



Obr. č. 4: Schematické znázornění rozpouštění s odlupováním okují kyselinou sírovou

Elektrolytické leštění kovů patří mezi elektrochemické způsoby leštění, kdy se využívá chemických prostředků a elektrolýzy. Předmět je anoda a elektrolytem je značně koncentrovaná a obvykle ohřátá lázeň. Tato lázeň obsahuje kyseliny (např. 40 až 60% H_2SO_4 nebo H_3PO_4). Katoda je nerozpustná a jen zavádí stejnosměrný proud do lázně. Rozpuštění anody probíhá rychleji na vyvýšených místech a pomaleji v prohlubních mikroskopických nerovnostech povrchu. Tím se povrch stává hladším [4].

Dekapování je zvláštním druhem moření, které spočívá v krátkém ponoru dílce do kyseliny (k dekapování se používá většinou 8 – 10 % kyselina chlorovodíková). Dekapováním se odstraňuje tenký, často neviditelný oxidový povlak na povrchu dílce a současně se povrch aktivuje. Tato operace obvykle předchází bezprostředně před dalším procesem. Tato operace trvá od 5 do 60 vteřin a získáme aktivní povrch připravený pro následné galvanické pokovení [1].

2.3. Princip elektrolýzy

Vylučování kovů je založeno na elektrolýze vodných roztoků kovových solí. **Elektrolýzu** lze definovat jako fyzikálně-chemický jev, kdy při průchodu elektrického proudu kapalinou, dochází k reakcím na elektrodách. Probíhají při ní na elektrodách redukční a oxidační pochody. Při přenosu elektrického náboje mezi elektrolytem a elektrodou vzniká elektrický proud. Jestliže na elektrodě při elektrodové reakci přechází kladný náboj z roztoku do elektrody nebo záporný náboj z elektrody do roztoku, označuje se vzniklý proud jako katodický a elektrodová reakce se nazývá katodická nebo redukční reakce. Například při katodické elektrodové reakci probíhá redukce iontů Fe^{3+} na Fe^{2+} elektronem, který přechází na ion Fe^{3+} z kovu elektrody.

Když naopak při elektrodové reakci přechází záporný náboj, tj. elektron, z roztoku na elektrodu nebo kladný náboj, kation, z elektrody do roztoku, nazývá se vzniklý proud anodický a reakce anodickou či oxidační reakcí. Jako příklad lze uvést oxidaci iontu Fe^{2+} na ion Fe^{3+} nebo oxidaci materiálu měděné elektrody za vzniku hydratovaných iontů Cu^{2+} v roztoku.

Aby k průchodu elektrického proudu došlo, je potřeba dosáhnout určité hodnoty elektrické vodivosti. Tu je možno definovat, jako míru schopnosti látky vést elektrický proud. Vedení elektrického proudu je zprostředkováno pohybem elektrických nábojů ve formě elektronů nebo iontů. Látky, které vedou elektrický proud přenosem elektronů, se nazývají vodiče první třídy, látky vedoucí proud přenosem iontů se nazývají vodiče druhé třídy.

Faraday vyslovil dva zákony, které určují kvantitativní poměry elektrochemického děje, první se nazývá zákonem stálého elektrochemického působení a druhý je tzv. zákon o ekvivalentech.

První zákon zní, že množství látek přeměněných chemicky účinkem elektrického proudu je přímo úměrné velikosti elektrického náboje, který prošel elektrolytem.

Druhý zákon zní, že hmotnostní množství různých látek přeměněných na elektrodách průchodem stejného elektrického náboje jsou k sobě v poměru svých ekvivalentních hmotností [1].

Podle toho, zda na elektrodě probíhá anodická, nebo katodická reakce, je definován pojem katoda a anoda. V elektrolytických lázních je většinou anodou rozpustná elektroda, kterou vchází proud do roztoku elektrolytu a doplňuje úbytek kovu do roztoku. Je to elektroda připojená ke kladnému pólu zdroje stejnosměrného proudu. Většinou bývá vyrobena z kovu, kterým se pokovuje. V některých případech, např. při chromování, se používají nerozpustné elektrody. Jako katoda jsou zapojeny pokovované díly, dochází k redukci kationtů a jejich zakotvení na kovovém povrchu, tzv. elektrokrystalizaci.

Elektrokrystalizace je velmi složitý proces a uplatňuje se při ní řada různých faktorů. Je to především složení lázně, hodnota pH, teplota, hustota elektrického proudu, typ elektrod atd. Elektrokrystalizaci lze také ovlivňovat formací elektrického proudu. Většina uvedených faktorů, které mají vliv na elektrokrystalizaci kovového povlaku, je pro každou lázeň specifická [4].

2.4. Galvanické lázně zinku a slitin zinku

Galvanické zinkování má svou dlouholetou tradici a za tu dobu bylo navrženo a použito mnoho druhů elektrolytických lázní. Postupem času se ke klasickým zinkovým lázním přidaly lázně s přidavkem dalších kovů, čímž se na povrch základního kovu vylučuje slitina zinku s daným kovem. Používané typy lázní jsou:

Alkalické kyanidové lázně s vysokým obsahem kyanidů jsou nejstarší a zpočátku měly výsadní postavení. Vyznačují se výbornými technologickými vlastnostmi a lze je použít k vylučování kvalitních povlaků v širokém rozmezí katodových proudových hustot. Jsou provozně stabilní a mají výbornou hloubkovou účinnost. Hodí se jak k závěsovému, tak i k hromadnému (bubnovému) pokovování. Nejsou náročné na předúpravu povrchu před pokovením. K jejich velkým nevýhodám patří zejména hygienická a ekologická nebezpečnost kyanidů a navodíkování základního ocelového materiálu [5].

V kyanidové zinkovací lázni je zinek vázán jednak v komplexním kyanidu zinečnato-sodném, jednak v zinečnatanu sodném. Rovnovážný vzájemný poměr zinku, hydroxidu a kyanidu má dominantní vliv jak na kvalitu vylučovaných

povlaků, tak na proudový výtěžek lázně. Tyto lázně jsou na ústupu, v praxi se již nevyužívají, zejména kvůli jejich vysoké toxicitě. Příklad složení kyanidové zinkovací lázně pro závěsové pokovení:

Zn 35-45 g/l

NaCN 100-135 g/l

NaOH 80-120 g/l

Optimální proudová hustota činí 4-5 A/dm². Vylučovací rychlost při 5 A/dm² je 1 μm/min. Provozní teplota kyanidových lázní se pohybuje v rozmezí od 20°C do 30°C. Lázně pracují při hodnotě pH blízké 14. Obsah mědi v lázni způsobuje vylučování tmavých povlaků [4].

Alkalické bezkyanidové lázně se používají pro vylučování korozně odolných vrstev (nedekorativní povlaky). Hlavní jejich předností je jejich relativní nejedovatost (nejdou sice nejedovaté, poněvadž obsahují zinek, avšak jsou neporovnatelně méně nebezpečné než kyanidové lázně).

První generace alkalických nekyanidových lázní používala systém leskutvorných přísad, který dává povlaku vysoký lesk a zobrazivost. Vyrovnávací schopnost je malá, prakticky dochází jen ke geometrickému vyrovnání. Lázně mají dobrou krycí schopnost, ale malou hloubkovou účinnost. K výhodám patří snadná a levná likvidace odpadních vod a možnost náhrady kyanidového elektrolytu beze změn v technologickém zařízení. K nevýhodám patří snadná pasivace anod při překročení maximální anodové proudové hustoty. V lázni je nutná přítomnost organických komplexotvorných látek, které tvoří se zinkem silné komplexy, aby se zabránilo vylučování hydroxidu zinečnatého [4]. Základními složkami lázně jsou:

Zn 10-20 g/l

NaOH 100-150 g/l

Lázeň pracuje v intervalu proudových hustot od 2 do 4 A/dm². Maximální vylučovací rychlost je 0,5 μm/min. Teplota lázně ovlivňuje hodnotu katodického proudového výtěžku a rozložení tloušťek zinkového povlaku. S lázní lze pracovat v

rozmezí teplot od 20°C do 35°C, je citlivá na znečištění organickými sloučeninami a riziko navodíkování základního ocelového materiálu rovněž nelze vyloučit [5].

Kyselé lázně se používají pro vylučování lesklých dekorativních povlaků. U kyselých zinkovacích lázní je třeba rozlišovat silně kyselé a slabě kyselé elektrolyty.

Silně kyselé lázně mohou pracovat při velkých hustotách elektrického proudu. Proto jsou vhodné pro zinkovací automaty na pokovování pásů a drátů při velkých rychlostech posuvu. Pro běžné úpravy nelze prakticky silně kyselé lázně použít, neboť mají malou hloubkovou účinnost. Vyloučené povlaky jsou hrubší, a pokud se do lázně nepřidávají leskotvorné přísady, jsou matné až houbovité.

Slabě kyselé lázně patří mezi nejmodernější. Vyznačují se velkou rychlostí vylučování, tažností povlaku i dobrou hloubkovou účinností. Hodí se pro hromadné i závěsové pokovování. Téměř 100%ní účinnost lázně dovoluje pokovovat pružiny i zboží z šedé a temperované litiny bez nebezpečí navodíkování. K nevýhodám patří vysoká náročnost na kvalitu předúpravy povrchu a citlivost na znečištění lázně ionty těžkých kovů[1]. Složení slabě kyselých zinkovacích lázní je následující:

Zn 25-45 g/l
chloridy 120-180 g/l
H₃BO₃ 20-35 g/l

Lázeň pracuje v intervalu proudových hustot od 0,5 do 5 A/dm². Vylučovací rychlost při 4 A/dm² je 1,1 μm/min. S lázní lze pracovat v rozmezí od 15°C do 45°C. Hodnota pH lázní se pohybuje v rozmezí 4,2 – 5,5. [5]

Slitinové lázně Zn-Fe, Zn-Ni patří k nejmodernějším elektrolytům. Jejich předností je až několikanásobně vyšší korozní odolnost povlaků ve srovnání s čistým zinkovým povlakem. Z elektrolytu Zn-Fe se vylučuje slitinový povlak, který obsahuje 0,4 – 0,8 % železa. Podobně z elektrolytu zinek-nikl se vylučuje slitinový povlak, který obsahuje 10 – 15 % niklu. Především povlak zinek-nikl je výrobcí automobilů velmi žádaný. Galvanický povlak zinek-nikl odolává cyklickým teplotním změnám, má minimálně 3x vyšší korozní odolnost než galvanický zinek, a proto je vhodný na ochranu součástí, které jsou umístěny v motorovém a

podvozkovém prostoru automobilu [6]. Složení jednoho z mnoha druhů těchto lázní je např.:

množství zinku 7-9 g/l
množství niklu 3,5-4,5 g/l
množství NaOH 100-150 g/l
Množství Na₂CO₃ 0-40 g/l

Pracovní interval proudových hustot se pohybuje mezi 1 – 3 A/dm² pro závěs, 0,1 – 1 A/dm² pro buben. Vylučovací rychlost při 2 A/dm² je 0,4 μm/min, resp. při 0,2 A/dm² je 0,1 μm/min. Pracovní teplota lázně se pohybuje v intervalu teplot 22 – 27°C. Vytvořená vrstva má obsah niklu 10 – 15% a je rovnoměrná, jemnozrná a lesklá [7].

2.5. Chromátování (pasivace)

Každý galvanicky vyloučený zinkový nebo slitinový (Zn-Fe, Zn-Ni) povlak je velmi reaktivní a rychle oxiduje za vzniku tzv. bílé koroze. Aby se této korozi zinku zabránilo, je třeba vyloučit na povrchu galvanického povlaku ochrannou vrstvičku. Tato ochranná vrstvička se vytvoří nejčastěji tzv. chromátováním. Nejčastěji je to chemickou reakcí chromu s kovovým povrchem za přítomnosti aktivátorů. Při této reakci dochází k jemnému naleptání povlakové vrstvy. Tloušťka vytvořeného chromátového povlaku a obsah trojmocného a šestimocného chromu pak rozhodují o zbarvení a korozní odolnosti. Podle optického vzhledu chromátové vrstvičky rozdělujeme chromátové povlaky [1]:

- ❖ modrý chromát (transparentní)
- ❖ žlutý chromát - tloušťka
- ❖ olivový, zelený chromát
- ❖ černý chromát - tloušťka

V některých případech se ještě chromátová vrstva dodatečně chrání slabou vrstvičkou vodorozpustného laku většinou na bázi silikátů a polymerů.

3. Koroze a testování galvanických povlaků

3.1. Koroze

Koroze je samovolný nevratný proces rozrušování kovových materiálů v důsledku jejich chemických nebo elektrochemických reakcí s okolním agresivním prostředím, který směřuje ke ztrátě funkčních vlastností výrobků z těchto materiálů vyrobených. Korozi podléhají téměř všechny materiály. Poškození materiálu může být rozdílné. Samovolný průběh korozního procesu je způsobován tím, že korozní systém směřuje do pravděpodobnějšího stavu s menší volnou entalpií. Při ochraně proti korozi se tedy snažíme volbou vhodného materiálu a povrchové ochrany, úpravou korozního prostředí ovlivňovat vznik a průběh koroze.

Samovolný průběh korozního procesu nastane tehdy, pokud energie původních složek korozních systémů je větší než energie korozních produktů. Podle vnitřních mechanismů dělíme korozi na chemickou a elektrochemickou [1].

Chemická koroze je znehodnocení vznikající vzájemným působením kovu a korozního prostředí (soli, kapaliny a plyny). Jde např. o oxidaci kovu, zejména oceli, v prostředí přehřáté páry a při jeho ohřevu nebo vysokoteplotní oxidaci kovu. Dochází pouze k chemickým reakcím mezi prostředím a materiálem, probíhá v elektricky nevodivém prostředí [8].

Elektrochemická koroze zahrnuje případy koroze kovů v elektricky vodivých prostředích. Vždy v sobě zahrnuje dvě dílčí reakce – anodovou a katodovou. Obě reakce jsou na sebe vázány (tzv. spřažené reakce) a nemohou probíhat samostatně. Anodová reakce odpovídá oxidaci kovu, a tedy vlastní korozi. Katodová reakce, zvaná též depolarizační (vybití nebo jiné odstranění elektronů vzniklých anodovou reakcí = depolarizace), odpovídá současně redukci některé oxidující složky roztoku, tj. buď vybití iontu vodíku (koroze s vodíkovou depolarizací) nebo redukci kyslíku rozpuštěného v elektrolytu (koroze s kyslíkovou depolarizací).

Rychlost koroze může být řízena buď chemicky řízenými reakcemi, transportně řízenými reakcemi nebo smíšeně řízenými reakcemi. Anodové i katodové reakce představují tedy dohromady korozní děj a podle okolností mohou probíhat buď na téměř místě povrchu korodujícího kovu, nebo místně odděleně [8].

3.1.1. Korozní napadení a děje z hlediska korozního prostředí

Atmosférická koroze je nejčastějším korozním napadením, protože agresivně atmosféry je vystavena největší část výrobků. První z vlivů, které spolupůsobí na atmosférickou korozi, jsou klimatické podmínky dané relativní vlhkostí (RH) a teplotou vzduchu a jeho znečištěním. Tím je dán i elektrochemický charakter této koroze. Na povrchu materiálu vzniká tenká vrstvička elektrolytu, nasycená rozpustnými složkami atmosféry, hlavně oxidem siřičitým, oxidem uhelnatým, amoniakem, chlorovodíkem a aerosoly. Tato slabá vrstvička silná 5 až 150 µm vzniká již při nižší relativní vlhkosti, asi kolem 60%. Tato vlhkost se nazývá kritická korozní vlhkost. Důležitý význam má i kyslík, který proniká tenkým filmem a účastní se katodické reakce jako depolarizátor, čili umožňuje korozi. Dalšími vlivy jsou sluneční záření a biologické činitele [1]. Norma ČSN ISO 9223 rozděluje atmosféry podle korozní agresivity do pěti stupňů:

- ❖ **C1 - velmi nízká.** Atmosféry uzavřených, klimatizovaných místností, v nichž nedochází ke kondenzaci vody.
- ❖ **C2 - nízká.** Vztahuje se na prostory, v nichž dochází k občasné kondenzaci.
- ❖ **C3 - střední.** Odpovídá suchým klimatům.
- ❖ **C4 - vysoká.** Odpovídá vlhkým oblastem za působení atmosférických nečistot průmyslových měst, přístavů aj.
- ❖ **C5 - velmi vysoká.**

Koroze ve vodách je nejčastější z případů koroze v kapalinách. Do styku s vodou přicházejí vodní stroje, stroje a zařízení na výrobu páry, chladicí systémy motorů, kompresorů a jiných strojů, rozvodná potrubí a armatury pitných a průmyslových vod aj. S čistou destilovanou vodou se v praxi běžně nesetkáváme, většina vod obsahuje různé množství solí, hydroxidů, kyselin, mikroorganismů a plynů, zejména kyslíku. Kyslík se v průběhu elektrochemické koroze uplatňuje jako depolarizátor. Vody pro průmyslové účely se změkčují, chemicky upravují a odplyňují. Vliv na korozi ve vodách má také hodnota pH a teplota [1].

Půdní koroze je zvláštním případem koroze v roztocích elektrolytů. Půda se skládá z plynné, kapalné a tuhé fáze. Základní význam z korozního hlediska má kapalná fáze půdy, která jí dává elektrickou vodivost. Z plynné fáze se uplatňuje opět kyslík jako depolarizátor [1].

3.1.2. Nejběžnější typy koroze

Rovnoměrná (celková) koroze je rovnoměrné napadení se stejným korozním úbytkem na celém povrchu, který je ve styku s korozním prostředím. Postup rovnoměrné koroze je velmi snadno kontrolovatelný a jedná se o nejpříznivější korozní napadení ve srovnání s ostatními druhy. Jednoznačné zjištění vyplývá ze stanovení změny hmotnosti a rozměrů vzorků před korozní zkouškou a po ní [1].

Nerovnoměrná (místní) koroze je obdobné napadení jako rovnoměrná koroze, nezasahuje ovšem celý povrch, ale pouze některá místa [1].

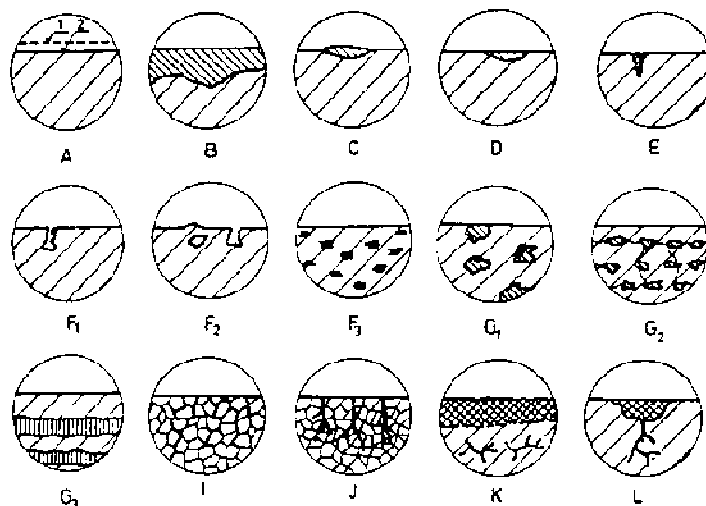
Skvrnitá, důlková a bodová koroze se vzájemně odlišují poměrem velikosti povrchové plochy k hloubce zasažení. Skvrnitá koroze je velmi mělké korozní napadení s velkou plochou v poměru s hloubkou. Při důlkové korozi se hloubka napadení přibližně rovná šířce. Naopak u bodové koroze je hloubka podstatně větší než šířka [1].

Podpovrchová koroze se vyznačuje tím, že při velmi malém narušení povrchu, vznikají pod povrchem velmi prostorné korozní dutiny. V některých případech ani nedochází k přímému spojení s povrchem [1].

Mezikrystalová koroze se vyznačuje výskytem zkorodovaného pásma podél hranic zrn. Korodovat mohou hranice všech nebo jen některých zrn [1].

Transkrystalová koroze je poškození, při němž vlivem korozního prostředí a vnějšího, popřípadě i vnitřního napětí, vznikají trhlinky probíhající od povrchu materiálu napříč zrny [1].

Selektivní koroze se objevuje u slitin s více fázovými strukturami, kdy se korozní napadení soustřeďuje pouze na jednu fázi a to v případě, kdy je korodující fáze přítomna ve struktuře v menším množství [1].



Obr. č. 5: Některé druhy korozního napadení: A – rovnoměrné napadení (1 – původní povrch, 2 – povrch po korozi), B – nerovnoměrné napadení, C – skvrnité napadení, D – důlkové napadení, E – bodové napadení, F – podpovrchové napadení, G – selektivní napadení, I – mezikrystalové napadení, J – transkrystalické napadení, K – extrakční napadení, L – korozní trhliny [1]

3.1.3. Korozní chování povlaku Zn-Ni

Jedním z několika druhů slitinových povlaků nahrazujících klasické zinkové povlaky je slitinový povlak Zn-Ni. Pro svoji vysokou korozní odolnost je tato slitina požadována výrobcí automobilů. A právě z tohoto důvodu jsou nejčastějšími a nejdůležitějšími zkouškami vlastností tohoto povrchu korozní zkoušky.

Korozní odolnost povlaků se ověřuje urychlenými korozními zkouškami v podmínkách neutrální solné mlhy (NSS), různými cyklickými zkouškami. Pro zkoušení těchto typů povlaků jsou specifikovány různými výrobcí automobilů různé režimy urychlené korozní zkoušky. V technických normách pro sledované typy povlaků je doporučena pouze urychlená korozní zkouška neutrální solnou mlhou. Příklady některých režimů urychlených korozních zkoušek jsou:

- ❖ zkouška v neutrální solné mlze NSS podle ČSN EN ISO 9227 při 35°C, 100% RH, 5% NaCl, doba zkoušky 72 až 3176 h
- ❖ tepelné namáhání (2 h při 150°C nebo 24 h při 120°C) + zkouška v neutrální mlze, doba zkoušky 2016 h
- ❖ cyklická vlhkostní zkouška (8 h při 35°C, 100% RH, trvalá kondenzace vody + 12 h v laboratorních podmínkách), doba zkoušky 50 cyklů
- ❖ cyklická zkouška (1 cyklus: 24 h v neutrální solné mlze + 16 h při 40°C, 100% RH + 48 h v laboratorních podmínkách), doba zkoušky 60 cyklů
- ❖ cyklická zkouška (1 cyklus: 4 h v neutrální solné mlze + 16 h při 40°C, 100% RH, trvalá kondenzace vody, po 5 cyklech 48 h v laboratorních podmínkách), doba zkoušky 10 cyklů

Ve většině těchto urychlených zkoušek podle mezinárodních, národních, oborových nebo zákaznických norem a předpisů se využívá pouze vizuální hodnocení exponovaných povrchových úprav se dvěma základními kritérii:

- ❖ doba do prvního vzniku koroze povlaku
- ❖ doba do prvního vzniku koroze základního materiálu

U slitinových Zn-Ni povlaků dochází k rychlejší korozi a úbytku zinku z povlaku a v povlacích se zvyšuje zastoupení niklu, což je příčinou vzniku lokálního bodového korozního napadení. Exponovaný povrch mimo rostoucí důlek je katodicky chráněn redukcí kyslíku na hydroxylový ion. V této katodicky chráněné oblasti mimo korozní důlek nedochází k rozpouštění kovu na povrchu [6].

3.2. Metody zkoušení

Užitná hodnota strojírenských výrobků je ovlivněna mnoha faktory. Jedním z nich je funkčnost, životnost a korozní odolnost povlaku. Povlak musí splňovat předpokládané požadavky na něj kladené. K zjišťování a ověřování kvality povlaků máme mnoho metod a zde jsou uvedené některé z nich.

3.2.1. Měření tloušťky povrchové vrstvy

Důležitým faktorem a vlastností těchto povrchů, který úzce souvisí s kvalitou a odolností proti korozi je tloušťka povrchu. Představuje nepřímý ukazatel očekávané účinnosti ochrany proti působení korozních vlivů a dodržení předpokládaných funkčních vlastností povrchu. Tloušťka povlaku je určena jako vzdálenost mezi povrchem povlaku a jeho fázovým rozhraním se základním materiálem. V oblasti povrchových úprav se tloušťka udává v mikrometrech.

Metody měření tloušťky jsou členěny na destruktivní a nedestruktivní. U destruktivních metod dochází při měření k porušení části nebo celého výrobku. Jsou vhodné např. pro vícevrstvé povlaky. Nedestruktivní metody jsou vhodné pro rychlá měření, umožňují hromadnou kontrolu, automatizaci měřících operací. Měřený údaj závisí na vlastnostech kontrolovaného místa (magnetických, elektrických, tepelných, radionuklidových, drsnosti, tloušťce povlaku i základního materiálu). Metod měření tloušťky je mnoho, zde jsou některé z nich [9].

Destruktivní metody

Mikroskopická (optická) metoda, ISO 1463 je metoda, kdy se tloušťka povlaku měří pomocí optického mikroskopu na zvětšeném snímku příčného řezu povlakem. Při pečlivé přípravě vzorku a při použití vhodných přístrojů lze touto metodou dosáhnout nejistoty měření 0,4 μm [10].

Metoda mnohosvazkové interferometrie podle Fizeaua, ISO 3868 pracuje na principu úplného rozpuštění povlaku na malé ploše bez poškození podkladu nebo maskováním této plochy před nanesením povlaku se mezi povrchem povlaku a povrchem podkladu vytvoří stupeň. Výška tohoto stupně se měří mnohosvazkovým interferometrem [10].

Profilometrická (dotyková) metoda, ISO 4518 je obdobná metoda jako předchozí. Rozdíl je v tom, že měření se provádí pohybem jehly po profilu stupně a výška stupně se stanoví elektronickým měřením a zaznamenáním pohybu jehly [10].

Metoda rastrovacím elektronovým mikroskopem, ISO 9220 používá k měření tloušťky povlaku rastrovací elektronový mikroskop a měří se na zvětšeném snímku příčného řezu povlakem. Používá se běžná mikrofotografie nebo se vyfotografuje výchylková modulace na stínítku pro jeden řádek procházející napříč povlakem [10].

Coulometrická metoda, ISO 2177 stanovuje tloušťku povlaku změřením množství elektrického náboje potřebného k anodickému rozpuštění povlaku na přesně určené ploše ve vhodných podmínkách pomocí vhodného elektrolytu [10].

Vázková metoda (snímání a vážení), ISO 10111 je metoda, kdy se hmotnost povlaku stanoví zvážením vzorku před rozpuštěním a po rozpuštění povlaku bez porušení podkladu, nebo zvážením povlaku před rozpuštěním a po rozpuštění podkladu bez porušení povlaku. Povlak má mít stejnou hustotu [10].

Nedestruktivní metody

Metoda měření mikroskopem s děleným svazkem světelných paprsků, ISO 2128 je metoda, která byla původně určena pro měření drsnosti povrchu. Pro měření průhledných nebo průsvitných povlaků je tato metoda nedestruktivní, při měření neprůhledných povlaků se musí odstranit malá plocha povlaku, tudíž se zkouška stává destruktivní. Na povrch povlaku dopadá svazek světelných paprsků pod úhlem 45°. Část svazku se odráží od povrchu povlaku, zatímco další část proniká povlakem a odráží se od rozhraní povlaku s kovovým podkladem. Vzdálenost mezi těmito dvěma obrazy pozorovanými okulárem mikroskopu je úměrná tloušťce povlaku [10].

Magnetické metody, ISO 2178 a ISO 2361 používají přístroje, které měří buď magnetickou přitažlivou sílu mezi magnetem a podkladovým kovem, kterou ovlivňuje přítomnost povlaku, nebo magnetický odpor při průchodu magnetického indukčního toku povlakem a podkladovým kovem. Všechny přístroje využívající magnetické metody jsou citlivé na magnetické podmínky a vlastnosti zkušebního

vzorku, na zakřivení povrchu, na čistotu, drsnost povrchu a na tloušťku podkladového materiálu a povlaku [10].

Rentgenospektrometrické metody, ISO 3497 používají pro stanovení tloušťky kovových povlaků emisní a absorpční metodu. Rentgenové záření se nechá dopadat na určenou oblast povrchu s povlakem a měří se intenzita sekundárního záření vysílaného povlakem nebo vysílaného podkladem a tlumeného povlakem. Mezi intenzitou záření a tloušťkou povlaku existuje závislost, která se zjišťuje pomocí etalonů [10].

3.2.2. Přílnavost povlaku

Zkoušky přílnavosti povlaků se provádí pro zjištění skutečného parametru přílnavosti mezi povlakem a samotným povrchem. Tahové, nebo tahově adhezní zkoušky (v laboratoři nebo v terénu) s použitím odtahového přístroje jsou mocným a nenahraditelným nástrojem pro průkazné nebo kontrolní prověření kvality povrchů nebo povrchových úprav v rozličných oblastech průmyslu. Pro zjištění přílnavosti povlaku existuje několik metod, zde jsou některé z nich:

Při **zkoušce přílnavosti vtlačováním** se vtlačuje Erichsenovým přístrojem razník do povlaku, výsledek zkoušky se hodnotí pod mikroskopem. Při dobré přílnavosti není znehodnocen povrch podél obvodu vzniklého důlku [9].

Metoda ohybu hodnotí povlak po pěti následných ohybech o 180° okolo válcového trnu, nesmí dojít k odloupenutí povlaku, vznik trhliny není významný [9].

Metoda pilováním - na hraně zkušební vzorku se piluje jemným pilníkem pod úhlem asi 45° od základního materiálu k povlaku. Měřítkem je odtržení povlaku [9].

Metoda třením – vybraná plocha povrchu se tře hladkou hranou kovového kotouče tak, aby se povlak leštil, nepoškozoval. Asi po 15 vteřinách intenzivního tření se hodnotí vzhled místa. Nesmí dojít k odtržení nebo vzniku puchýřků [9].

Další možností, jak zjistit přilnavost povrchu jsou tzv. **zkoušky tepelným šokem**, např. dle ISO 2819. Zkouška pracuje na principu odlišných koeficientů roztažnosti povlaku a základního materiálu. Proto je zkouška použitelná, když je koeficient roztažnosti povlaku odlišný od základního materiálu. Zkouška je provedena tak, že zkušební vzorek se nechá po určitý čas zahřívat v peci, pro podkladový materiál ocel a povrchovou úpravu Zn-Ni se udává 220°C. Teplota musí být udržena v rozmezí $\pm 10^\circ\text{C}$. Kovy náchylné k oxidaci musí být ohřívány v inertní nebo redukční atmosféře nebo ve vhodné kapalině. Zkušební vzorek je potom zchlazen ve vodě při teplotě okolí. Nesmí nastat žádné odloupenutí nebo bubliny, zvednutí nebo odprýsknutí povlaku od základního materiálu [11].

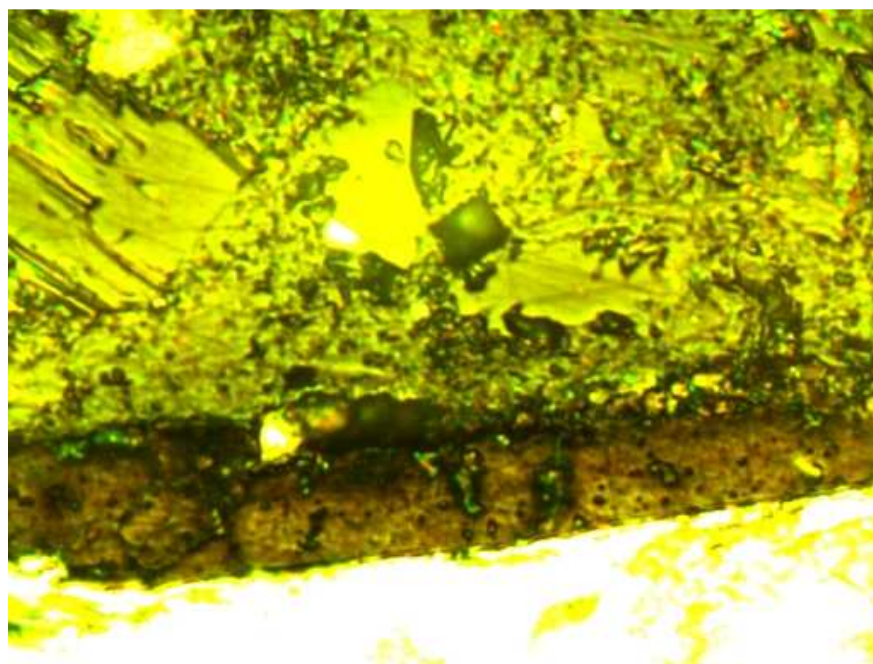
3.2.3. Mechanické vlastnosti

Pro stanovení tvrdosti povrchových vrstev nebo jednotlivých zrn materiálu se využívá metod měření mikrotvrdosti a nanoindentačních zkoušek. Měření mikrotvrdosti se provádí Vickersovou nebo Knoopovou metodou. Při Vickersově metodě se jako indentor využívá diamantový jehlan a tvrdost se vyhodnocuje stejně jako při standardní Vickersově metodě měření tvrdosti. Při Knoopově metodě zanechá indentor vtisk s rozdílně dlouhými úhlopříčkami. Nanoindentační zkoušky jsou v podstatě zkoušky tvrdosti s velmi malým zatížením. Vlastnosti materiálu se při těchto zkouškách vyhodnocují ze závislosti zatížení – hloubka vniku, protože plocha vtisku by byla obtížně pozorovatelná běžnými mikroskopy. Vlastní zkouška se realizuje podobně jako běžná zkouška tvrdosti podle Vickerse.

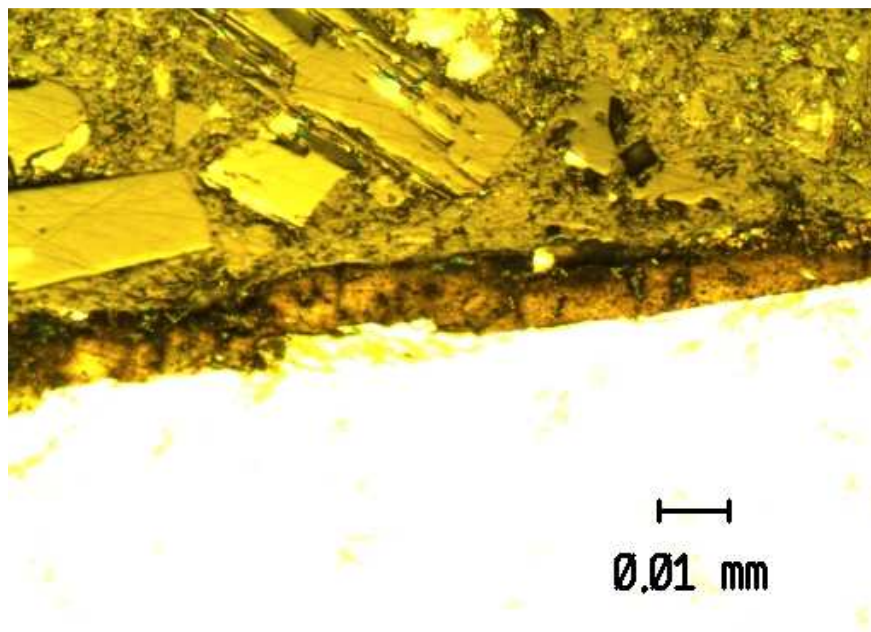
Dalšími důležitými vlastnostmi jsou drsnost povrchu a odolnost proti opotřebení. Drsnost povrchu se měří tzv. profilometry – zařízeními, která hrotem kopírují povrch vzorku a zaznamenávají výchylku [μm]. Zkoušky odolnosti proti opotřebení obvykle simulují konkrétní typ namáhání, se kterým se materiál setká při praktickém použití. Obvykle se jedná o adhesivní (kontakt dvou ploch) nebo abrazivní namáhání (kontakt dvou povrchů, přičemž v prostoru mezi nimi se nacházejí částice). Vyhodnocuje se rychlost opotřebení, vyhodnocená z hmotnostních nebo objemových úbytků během zkoušky [12].

4. Analýza vlastností vzorků s Zn-Ni povlakem

První měřicí metodou, která byla použita pro zjištění vlastností Zn-Ni vrstvy byla **mikroskopická metoda** ke zjištění tloušťky povrchové vrstvy. Vzorek byl rozříznut kotoučovou pilou s rozbrušovacím kotoučem. Po odříznutí vzorku se hrubým broušením vzorek připravil na zalití do pryskyřice. To bylo potřeba provést z důvodu malého rozměru vzorku, aby s ním bylo možno manipulovat při dalších dočišťovacích operacích. Po té následovalo jemné broušení pomocí diamantových kotoučů, první se zrnitostí 100 (počet zrn na 1 cm^2) a druhý se zrnitostí 600. Poslední operací před leptáním bylo leštění, kde bylo použito brusné pasty s diamantovým brusivem o velikosti zrna $1\text{ }\mu\text{m}$. Pro naleptání povrchu byl použit 3% Nital. Po každé z těchto operací byl proveden oplach pomocí $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, usnadňující sušení a zabraňující zkorodování kovového substrátu. Byly pořízeny 2 fotografie při zvětšení 500x. K tvorbě snímků byl použit metalografický mikroskop NEOPHOT 32. Mikroskop má přidanou digitální kameru Micrometrics.



Obr. 6: Rozhraní základní materiál – povrchová vrstva Zn-Ni



Obr. 7: Rozhraní základní materiál – povrchová vrstva Zn-Ni

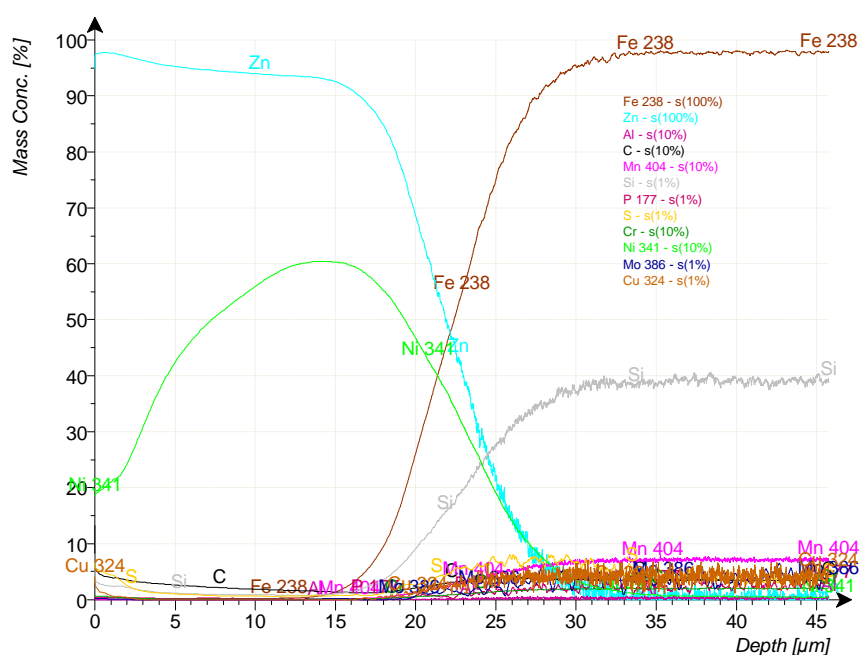
Z uvedených fotografií můžeme vyčíst tloušťku povrchové vrstvy, která se pohybuje okolo 9 μm . Tato tloušťka povrchové vrstvy obsahuje i chromátovou vrstvu, ale optickým mikroskopem ji není možno odlišit od Zn-Ni vrstvy. Na fotografii jsou patrné nerovnosti povrchu, které způsobují to, že i povrchová vrstva není rovnoměrně silná.

Druhou zkušební metodou, která byla použita v této práci pro zkušební vzorek s povrchovou úpravou Zn-Ni, byla **emisní spektrální analýza s doutnavým výbojem** – GDOS, zkratka pro Glow Discharge Optical Spectroscopy, analytickou metodu zkoumání povrchu pro silné vrstvy. Ve stejnosměrné plazmě slouží vzorek jako katoda a je odpařen. Kolize mezi odpařenými atomy a plazmovým plynem (Ar) umožňují vznik charakteristického záření atomů dříve odpařené vrstvy. Tato metoda je mnohem přesnější než předchozí, mimo zjištění tloušťky vrstvy jsme získali chemické složení povrchové vrstvy do hloubky 40 μm .

Zkušební vzorek byl analyzován firmou Spectruma analytik G.m.b.h. Společnost Spectruma má dlouhodobě dobrou reputaci ve vývoji a výrobě spektrometrů s doutnavým výbojem pro analýzu upravených povrchů. Analýza byla provedena s přístrojem GDA 650. Tento přístroj je mimořádně citlivý vysoce-výkonný optický emisní spektrometr pro stanovení chemického složení povrchů a povlaků. Přístroj umožňuje rychlé stanovení složení a tloušťky technických povlaků. Prvky mohou být kvantitativně určeny, včetně lehkých jako H, O, N, C. Limity detekce se pohybují v rozsahu 1 až 50 ppm. Hloubková rozlišovací schopnost blízko povrchu činí cca. 50 nm. Je rovněž možno získat chemické složení (homogenního) vzorku [13].

Výsledek analýzy je patrný z grafu 1 a tabulky 1. Tloušťka měřené vrstvy 40 μm byla zvolena proto, že v této hloubce už se nepředpokládají výrazně jiné hodnoty množství prvků než v základním materiálu. Výslednou hodnotou měřené tloušťky povrchové vrstvy je **20 μm** , což je diametrálně odlišný výsledek od předchozího. To je způsobeno nerovnoměrnou tloušťkou vrstvy a výběrem místa měření. Zatímco na metalografickém výbrusu je vidět velká část řezu a na ní je možno odečíst skutečně minimální tloušťku povrchu, u této metody se výsledek odečítá z jednoho místa vzorku. Z tab. 1 je vidět vyšší obsah chromu v povrchové vrstvičce, což ukazuje na chromátovou ochranu povrchu.

Graf. 1: grafické znázornění výsledku



Tab. 1: výsledné hodnoty složení povrchové vrstvy do hloubky 40 µm

Hloubka [µm]	Fe [%]	Zn [%]	Al [%]	C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Cu [%]
1,0	0,12	97,72	0,006	0,397	0,000	0,024	0,004	0,045	0,052	2,090	0,001	0,008
2,0	0,11	97,13	0,005	0,355	0,000	0,023	0,004	0,027	0,032	2,386	0,001	0,004
3,0	0,13	96,41	0,004	0,311	0,000	0,017	0,003	0,016	0,022	3,026	0,000	0,001
4,0	0,14	95,74	0,005	0,285	0,002	0,013	0,002	0,012	0,014	3,714	0,000	0,000
5,0	0,15	95,29	0,003	0,263	0,003	0,012	0,002	0,011	0,010	4,216	0,000	0,000
6,0	0,16	94,91	0,003	0,246	0,004	0,011	0,002	0,009	0,008	4,601	0,000	0,000
7,0	0,16	94,66	0,004	0,227	0,000	0,010	0,003	0,008	0,007	4,917	0,000	0,000
8,0	0,17	94,40	0,002	0,214	0,003	0,009	0,002	0,007	0,007	5,147	0,000	0,000
9,0	0,18	94,24	0,002	0,198	0,000	0,009	0,002	0,007	0,007	5,382	0,000	0,000
10,0	0,20	94,02	0,000	0,187	0,004	0,008	0,002	0,007	0,006	5,584	0,000	0,000
11,0	0,22	93,78	0,001	0,178	0,001	0,009	0,002	0,006	0,005	5,777	0,000	0,000
12,0	0,26	93,63	0,001	0,167	0,003	0,008	0,001	0,007	0,005	5,927	0,000	0,000
13,0	0,36	93,45	0,000	0,158	0,000	0,008	0,001	0,007	0,005	6,004	0,000	0,000
14,0	0,64	93,27	0,003	0,147	0,000	0,008	0,001	0,007	0,005	6,043	0,001	0,000
15,0	1,33	92,61	0,003	0,138	0,003	0,010	0,001	0,007	0,007	6,033	0,002	0,000
16,0	2,75	91,24	0,004	0,130	0,010	0,014	0,001	0,008	0,009	5,972	0,001	0,000
17,0	5,31	88,68	0,002	0,129	0,021	0,023	0,003	0,008	0,013	5,809	0,000	0,003
18,0	9,42	84,86	0,006	0,138	0,042	0,036	0,002	0,012	0,021	5,532	0,000	0,002
19,0	16,23	78,10	0,003	0,168	0,081	0,059	0,005	0,021	0,032	5,149	0,002	0,008
20,0	25,97	68,81	0,011	0,209	0,130	0,090	0,006	0,026	0,050	4,680	0,006	0,014
21,0	36,08	59,12	0,012	0,252	0,198	0,122	0,007	0,034	0,065	4,173	0,011	0,020
22,0	46,34	48,72	0,013	0,300	0,240	0,163	0,006	0,046	0,083	3,689	0,020	0,030
23,0	56,02	39,63	0,019	0,338	0,301	0,198	0,009	0,059	0,107	3,091	0,010	0,027
24,0	66,59	28,23	0,007	0,379	0,413	0,242	0,011	0,061	0,123	2,515	0,019	0,042
25,0	74,79	21,40	0,008	0,385	0,472	0,276	0,013	0,067	0,143	1,917	0,023	0,038
26,0	82,49	15,80	0,005	0,385	0,495	0,302	0,019	0,072	0,156	1,415	0,044	0,038
27,0	87,32	9,79	0,052	0,383	0,574	0,333	0,015	0,067	0,173	1,026	0,030	0,061
28,0	91,34	5,70	0,048	0,373	0,599	0,349	0,025	0,060	0,178	0,718	0,041	0,035
29,0	93,93	4,97	0,017	0,359	0,633	0,369	0,022	0,070	0,183	0,492	0,049	0,047
30,0	95,32	2,28	0,054	0,362	0,669	0,373	0,021	0,067	0,191	0,339	0,043	0,053
31,0	96,39	0,00	0,025	0,361	0,692	0,388	0,031	0,071	0,195	0,243	0,045	0,043
32,0	96,20	2,06	0,011	0,348	0,682	0,386	0,028	0,053	0,194	0,185	0,043	0,036
33,0	97,49	1,10	0,021	0,346	0,707	0,389	0,020	0,046	0,196	0,133	0,010	0,036
34,0	97,54	0,84	0,037	0,348	0,699	0,387	0,020	0,040	0,196	0,102	0,056	0,030
35,0	97,65	0,04	0,044	0,353	0,709	0,384	0,022	0,049	0,198	0,088	0,028	0,062
36,0	97,63	0,00	0,028	0,355	0,722	0,393	0,014	0,045	0,199	0,079	0,045	0,043
37,0	97,64	1,62	0,019	0,346	0,709	0,385	0,016	0,055	0,196	0,068	0,038	0,051
38,0	97,61	1,73	0,010	0,349	0,730	0,387	0,029	0,036	0,201	0,061	0,044	0,036
39,0	97,39	1,27	0,005	0,350	0,710	0,385	0,027	0,042	0,198	0,064	0,024	0,035
40,0	98,02	0,11	0,022	0,353	0,687	0,394	0,033	0,023	0,203	0,053	0,045	0,033

Pro zjištění **přilnavosti povlakové vrstvy** byla zvolena metoda teplotním šokem dle ISO 2819. Ta, jak je uvedeno výše, pracuje na rozdílné teplotní roztažnosti materiálů. Byly vybrány 3 vzorky, které byly odmaštěny. Poté se v přehřáté peci na 220°C temperovaly po dobu 30 minut. Poslední operací bylo vhození vzorků do vody o teplotě okolí. Po vyjmutí vzorků z vody a následném osušení se vyhodnotila kvalita povrchu. Ani na jednom ze vzorků nedošlo k narušení povrchové vrstvy, nebyly patrné žádné puchýřky ani odloupnutí, přilnavost povrchu je proto **vyhovující**.



Obr. 8: Vzorky po testu teplotním šokem

5. Vliv tepelného namáhání na korozní odolnost povlaku Zn-Ni

Cílem této práce je zjistit, zda má tepelné namáhání dílů s povlakovou slitinou Zn-Ni vliv na její korozní odolnost (zkouška neutrální solnou mlhou). Předmětem testu jsou konstrukční díly podvozkového systému, které jsou často vystavovány zvýšené teplotě. Zákaznické normy proto předepisují před provedením zkoušky solnou mlhou tepelnou zátěž po dobu 1 hod. při teplotě 80°C – 120°C. Pokud by závislost nebyla prokázána, může být tato práce vzata jako podnět pro návrh na zrušení tepelného namáhání před testem solnou mlhou.



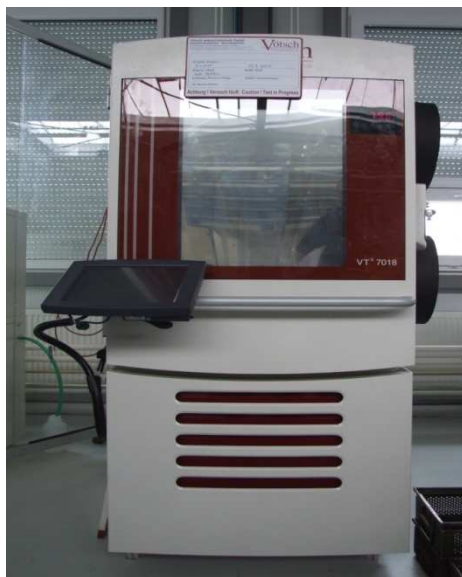
Obr. 9: Hlava Iveco 2000

Pro tento test jsou použity obrobené hlavy kulových čepů Iveco 2000 s povlakem ze slitiny Zn-Ni (obr. 6) z produkce firmy TRW – Das, a.s. a galvanické pokovení slitinou Zn-Ni (pokovení v závěsu) je provedeno firmou CVP s.r.o. Galvanica Příbram. Proces galvanického pokovení viz příloha č. 2. Označení galvanického povlaku je DIN 50962 - Fe//Zn-Ni(12) 5//A, což značí povlak ze slitiny na základě zinku na ocelovém konstrukčním dílu (Fe) s hmotným podílem niklu 12% (Zn-Ni(12)), nejmenší místní tloušťkou vrstvy 5 μm (5) a bezbarvým chromátováním (A) [14]. DIN 50962 je norma pro chromátové povlaky ze slitin na základě zinku na slitinách železa. Vlastnosti vzorků vyjma korozní odolnosti jsou popsány v předcházející stati.

Tab. 2: Rozdělení vzorků

	0 h	0,5 h	1 h	4 h	12 h	24 h
Teplota okolí	3 ks	-	-	-	-	-
80°C	-	3 ks	3 ks	3 ks	3 ks	3 ks
120°C	-	3 ks	3 ks	3 ks	3 ks	3 ks
150°C	-	3 ks	3 ks	3 ks	3 ks	3 ks

Před samotným testem solnou mlhou bylo třeba vzorky rozdělit do skupin pro jednotlivé teploty a časy (viz tab. 1). Volba teplot byla provedena podle interních a zákaznických specifikací. Poté byly vzorky po dosažení předepsané teploty postupně vkládány do pece a po stanoveném čase vyjmuty a ponechány na vzduchu zchladnout. K tomuto účelu bylo použito teplotní komory Voetch VT 7018 (obr. 7). Testované díly byly označeny pro správnou identifikaci, jak při tepelném namáhání v komoře, tak i pro test solnou mlhou.



Obr. č. 10: Teplotní komora Voetch VT 7018

Pro hlavu Iveco 2000 (výkres viz příloha) je předepsán test solnou mlhou podle specifikace ČSN ISO 9227. Tato mezinárodní norma stanovuje přístroje, chemikálie a postup pro zkoušky v mlze neutrálního roztoku chloridu sodného (NSS), v mlze okyseleného roztoku chloridu sodného (AASS) a v mlze okyseleného roztoku chloridu sodného a chloridu měďnatého (CASS), kterými se zjišťuje protikoroziční odolnost kovových materiálů. V našem případě byla provedena zkouška NSS. Podmínky provedení zkoušky solnou mlhou lze nalézt v tab. 2 a na obr. 8 můžeme vidět solnou komoru Liebisch SKBW 1000, ve které byl experiment proveden.

Tab. 3: Parametry pro provedení zkoušky rozprašovanou solnou mlhou [15]

Parametry pro provedení zkoušky solnou mlhou	
Koncentrace (NaCl) [g/l]	(50 ± 5)
Hodnota pH	6,5 - 7,2
Teplota v solné komoře [°C]	(35 ± 2)
Vodivost [mS/m] při (35±2)°C	2
Záchytná plocha [cm ²]	80
Nasbírané množství [ml/h]	(1,5 ± 0,5)



Obr. č. 11: Solná komora LIEBISCH SKBW 1000

Pro vyhodnocení výsledku testu solnou mlhou je předepsána dle výkresu specifikace DIN 50962, která udává požadavek minimálně 120 hodin bez koroze povlaku (bílá koroze) a minimálně 240 hodin bez koroze základního kovu (červená koroze). Časy z normy jsou v případě tohoto experimentu pouze orientační, neboť se jednalo o srovnávací test a všechny vzorky byly testovány za stejných podmínek. Kontrola vzorků byla prováděna častěji, aby byla zachycena doba, kdy se objeví první známky bílé resp. červené koroze.

Nejprve se na povrchu začal objevovat tzv. „šedý závoj“, který se nepovažuje za vadu povrchu, po určité době se na povrchu začaly objevovat body, kde začínal korodovat zinek, tzv. bílá koroze. Nakonec se začala objevovat koroze základního materiálu a to vždy uprostřed zinkových zplodin.

Při každé kontrole byly vzorky opláchnuty pod tekoucí vodou, aby byly odstraněny sraženiny solného roztoku. Fotografie byly pořízeny jak při vlhkém povrchu, kdy se dobře detekuje bílá koroze, tak při vysušeném, kdy se lépe rozpoznává červená koroze. Na následujících snímcích je zachycen experiment v důležitých časových úsecích.

Vzorky po 96 hodinách v solné komoře, objevují se první náznaky bílé koroze:



Obr. č. 12: 0,5 hodiny při 150°C - vzorek C

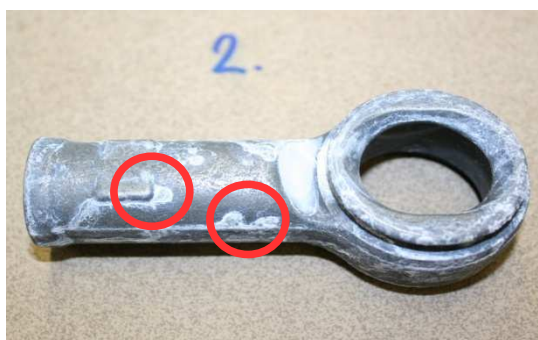


Obr. č. 13: Tepelně nezatěžovaný vzorek C

Vzorky po 120 hodinách v solné komoře, jasně znatelná bílá koroze:



Obr. č. 14: 0,5 hodiny při 80°C - vzorek A



Obr. č. 15: 1 hodina při 80°C - vzorek B

Vzorky po 480 hodinách v solné komoře, červená koroze se objevuje u 1 vzorku:



Obr. č. 16: 1 hodina při 80°C - vzorek B



Obr. č. 17: 24 hodin při 80°C - vzorek C



Obr. č. 18: 1 hodina při 120°C - vzorek A



Obr. č. 19: 0,5 hodiny při 150°C - vzorek C

Vzorky po 528 hodinách v solné komoře, červená koroze průkazná u 3 vzorků:



Obr. č. 20: 12 hodin při 80°C - vzorek B



Obr. č. 21: 1 hodina při 120°C - vzorek A



Obr. č. 22: 24 hodin při 120°C - vzorek B

Vzorky po 1000 hodinách v solné komoře, konec experimentu:



Obr. č. 23: 12 hodin při 80°C - vzorek B



Obr. č. 24: 1 hodina při 120°C - vzorek A



Obr. č. 25: 4 hodiny při 120°C - vzorek B



Obr. č. 26: 24 hodin při 120°C - vzorek A

Některé vzorky začaly vykazovat vznik bílé koroze již po 96 hodin, tudíž nesplnily minimální požadavky na odolnost proti korozi. První bod červené koroze se objevil již při 480 h, což je limit, do kterého je požadován základní kov bez koroze. Po určité době (asi po 600 hodinách) se až do ukončení experimentu vzhled vzorků nemění, jak bílá, tak červená koroze již nerostou ani nevznikají nová ohniska koroze.

Tab. 4: Všechny vzorky napadené bílou korozí po 96 h

Bílá koroze po 96 h						
	0 h	0,5 h	1 h	4 h	12 h	24 h
Teplota okolí	1 ks	x	x	x	x	x
80°C	x	-	-	-	-	-
120°C	x	-	1 ks	-	-	-
150°C	x	1 ks	-	-	-	-

Tab. 5: Všechny vzorky napadené bílou korozí po 120 h

Bílá koroze po 120 h						
	0 h	0,5 h	1 h	4 h	12 h	24 h
Teplota okolí	1 ks	x	x	x	x	x
80°C	x	1 ks	1 ks	1 ks	2 ks	1 ks
120°C	x	1 ks	2 ks	-	1 ks	-
150°C	x	2 ks	-	1 ks	-	-

Tab. 6: Všechny vzorky napadené červenou korozí po 480 h

Červená koroze po 480 h						
	0 h	0,5 h	1 h	4 h	12 h	24 h
Teplota okolí	-	x	x	x	x	x
80°C	x	-	-	-	-	-
120°C	x	-	1 ks	-	-	-
150°C	x	-	-	-	-	-

Tab. 7: Všechny vzorky napadené červenou korozí po 600 h

Červená koroze po 600 h						
	0 h	0,5 h	1 h	4 h	12 h	24 h
Teplota okolí	-	x	x	x	x	x
80°C	x	-	-	-	1 ks	-
120°C	x	1 ks	1 ks	-	-	1 ks
150°C	-	-	-	-	-	-

V průběhu experimentu bylo zjištěno, že žádná ze skupin nevykazuje větší náchylnost ke korozi. Neobjevila se ani jedna trojice, kde by došlo k výskytu koroze u všech třech vzorků a pokud porovnáme jednotlivé vzorky podle zatěžovacích teplot, ani zde se neobjevuje žádná výrazná závislost.

6. Diskuze

Tento experiment dokázal, že slitinové povlaky Zn-Ni s následným chromátováním poskytují velmi kvalitní ochranu proti korozi. První korozní napadení slitinového povlaku se objevilo již po 96 hodinách expozice, po 120 hodinách bylo bílou korozí napadeno již 14 vzorků, což by se mohlo zdát jako skutečnost, že vzorky jsou nedostatečně chráněny proti korozi. Nicméně nebezpečná červená koroze se po předepsaných 480 hodinách objevila pouze u jediného vzorku a za celou dobu experimentu se objevila pouze u 3 vzorků. U těchto vzorků se může jednat o nedokonalou chromátovou ochranu, nedostatečnou tloušťku povlakové vrstvy nebo nesprávné procentuální zastoupení jednotlivých složek povlakové slitiny. Další možnou příčinou je mechanické poškození před testem a tím narušení ochranné vrstvy. Bílá koroze, která se u vzorků objevila, působí jako ochranná vrstvička proti napadení korozí základního kovu. Z fotografií je vidět, že u slitinových povlaků Zn-Ni není tato vrstvička nijak výrazně objemná. Pokud u dílu není kladen požadavek na vzhled, a to u podvozkových dílů není důležitý faktor, není bílá koroze na závadu.

Zjišťovaná závislost korozní odolnosti na předchozím teplotním zatížení se v tomto případě neprokázala. Výsledek ovšem nelze zobecňovat. Aby bylo možno zobecnit tvrzení, že korozní odolnost slitiny Zn-Ni není závislá na teplotě, bylo by potřeba provést mnoho dalších testů s různými tloušťkami vrstev, různým složením této slitiny apod. Bylo by potřeba použít vzorky s vysoce kvalitní úpravou povrchu, aby se dosáhlo co nerovnoměrnější tloušťky povrchové vrstvy, bez kazů, výstupků a důlků. Také výše teploty má velmi důležitý vliv, při vysokých teplotách by postupně docházelo k narušení chromátové vrstvy a následně i ochranné vrstvy Zn-Ni. Je do jaké výše teplota korozní odolnost neovlivňuje.

7. Závěr

V rámci zadaných cílů bakalářské práce jsem se seznámil technologiemi výroby galvanických povlaků Zn-Ni včetně metod jejich testování. Analyzoval jsem důležité vlastnosti těchto povrchů, jako je tloušťka povrchu, která ovlivňuje další vlastnosti Zn-Ni povlaků, především odolnost proti korozi. Další vlastností byla přilnavost povlaku. Experimentálně jsem ověřil vliv tepelného namáhání na korozní odolnost povlaků Zn-Ni.

Experiment ukázal, že teplotní kalibrace těchto dílů není nutná, při výši teploty do 150 °C se korozní odolnost povrchové vrstvy nijak nezměnila. Výsledek tohoto testu ovšem nelze zobecňovat pro veškeré výrobky s povrchovou vrstvou Zn-Ni. Na to bylo potřeba provést několik dalších testů s rozdílnými podmínkami a s rozdílnými parametry povrchové vrstvy.

Tato práce může posloužit jako podklad pro návrh na změnu některých specifikací, ze kterých by mohl být vyřazen požadavek na teplotní kalibraci před testem solnou mlhou. Výrobci automobilů kladou důraz na ekologičnost jejich výrobků. Šetřením elektrické energie během tepelné kalibraci může být dalším krokem ochrana životního prostředí. Většina specifikací je ovšem předepsána obecně pro povrchy Zn-Ni, proto by bylo potřeba provést další experimenty, aby byly podklady dostačující.

8. Použitá literatura

- [1] KREIBICH, V. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: vydavatelství ČVUT, 1996, skriptu ČVUT, ISBN 80-01-01472-X.
- [2] KUDLÁČEK, J.; KREIBICH, V. *Tryskání suchým ledem* [online] leden 2008, číslo 1 [cit. 16.04.2010]. Dostupný na [www: <http://www.povrchari.cz ke stazeni/200801_povrchari.pdf>](http://www.povrchari.cz)
- [3] *ASM Handbook Vol. 05 : Surface engineering*. Materials Park, Ohio, U.S.A.: ASM International, 1994. ISBN-13 9780871703842, ISBN 087170384X.
- [4] RUML, V.; SOUKUP, M. *Galvanické pokovování*, Praha: SNTL, 1981.
- [5] TRČKA, J.; FIALA J. *Přilnavost galvanicky vyloučených zinkových povlaků a její ovlivnění teplotou*. [online] 2003 [cit. 21.04.2010]. Dostupný na [www: <http://www.metal2010.com/data/metal2003/sbornik/papers/93.pdf>](http://www.metal2010.com/data/metal2003/sbornik/papers/93.pdf)
- [6] KREISLOVÁ, K. *Korozní chování elektrolytických slitinových povlaků Zn/Ni*. [online] listopad 2008, číslo 9 [cit. 22.04.2010]. Dostupný na [www: <http://www.povrchari.cz/kestazeni/200809_povrchari.pdf>](http://www.povrchari.cz/kestazeni/200809_povrchari.pdf)
- [7] SurTec. *Alkalická bezkyanidová slitinová lázeň zinek/nikl*. [online] srpen 2009 [cit. 27.4.2010]. Dostupný na [www: <http://www.surtec.cz/Pibs/ST716.pdf>](http://www.surtec.cz/Pibs/ST716.pdf)
- [8] BARTONÍČEK, R. a kol. *Koroze a protikorozní ochrana kovů*. Praha: Academia, nakladatelství Československé akademie věd, 1966.
- [9] PRŮŠEK, J a kol. *Hodnocení jakosti a účinnosti protikorozních ochran*. Praha: SNTL, 1985.
- [10] ČSN EN ISO 3882. *Kovové a jiné anorganické povlaky - Přehled metod měření tloušťky*. Praha: Český normalizační institut, listopad 2003.
- [11] ČSN ISO 2819. *Kovové povlaky na kovových podkladech. Elektrolytický a chemický vyloučené povlaky. Přehled metod pro zkoušení přilnavosti*. Praha: Český normalizační institut, březen 1994.
- [12] *Metody studia povrchových vrstev a povlaků – teorie*. [online] Praha: VŠCHT, Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství, 2010. [cit. 28.04.2010]. Dostupný na [www: <http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_studium_povrch_vrstev/index.htm>](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_studium_povrch_vrstev/index.htm)
- [13] SPECTRO CS, s.r.o. *GDOES spektrometr s vysokým rozlišením, vhodný pro laboratorní aplikace* [online] 2010. [cit. 09.05.2010]. Dostupný na [www: <http://www.spectro.cz/download/GDA_650_brozura_cz.pdf>](http://www.spectro.cz/download/GDA_650_brozura_cz.pdf)

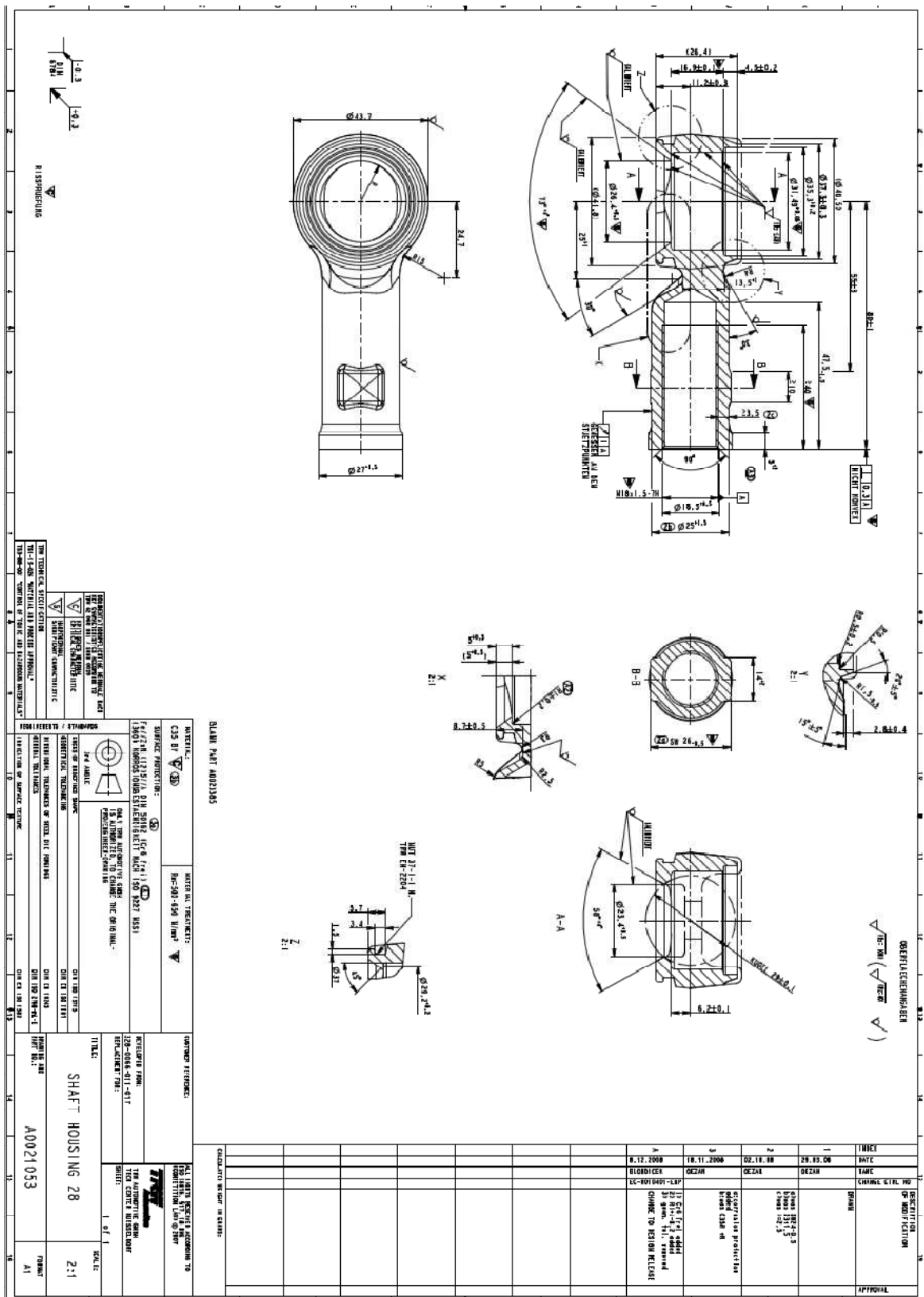
[14] DIN 50962. *Galvanische Überzüge - Chromatierte Zinklegierungsüberzüge auf Eisenwerkstoffen*. Berlin : Deutsches Institut für Normung, August 1998.

[15] ČSN EN ISO 9227. *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou*. Praha: Český normalizační institut, březen 2007.

9. Přílohy

- č. 1 Výrobní výkres hlavy Iveco 2000 TRW Das, Dačice
- č. 2 Schéma postupu galvanického pokovení hlavy Iveco 2000

Příloha č. 1



Výrobní výkres hlavy Iveco 2000

Příloha č. 2

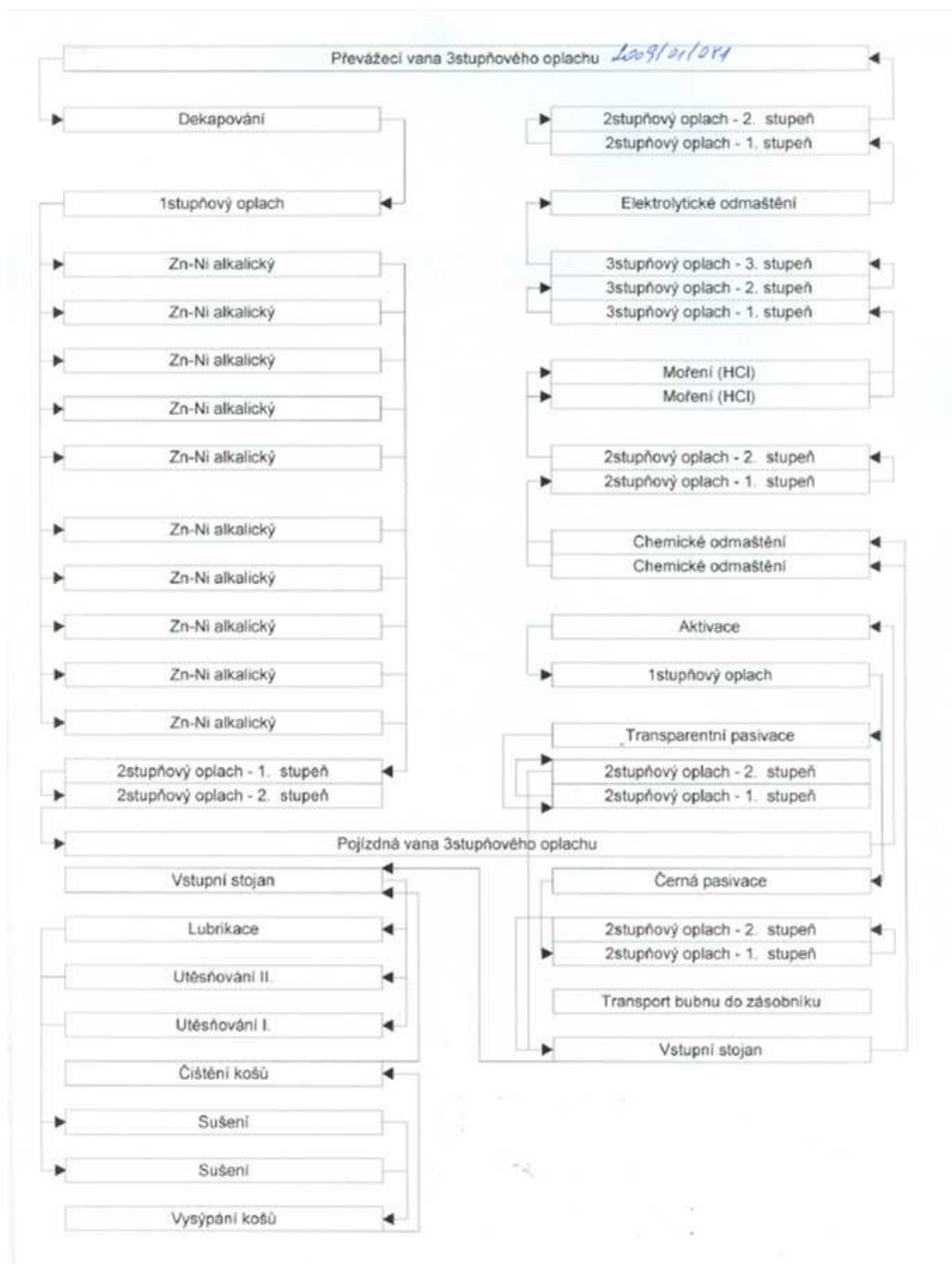


Schéma postupu galvanického pokovení hlavy Iveco 2000